

Energetska učinkovitost zgradb

Igor Pušnik

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za metrologijo in kakovost (LMK)
Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: igor.pusnik@fe.uni-lj.si

Povzetek. Evropska Unija (EU) in njene članice skušajo z različnimi programi preprečiti čezmerni izpust toplogrednih plinov v ozračje zaradi zaveze, ki so jo podpisale v okviru Kjotskega protokola, ki je začel veljati februarja 2005. V prvem ciljnem obdobju, med letoma 2008 in 2012, naj bi države podpisnice protokola, med njimi je tudi Slovenija, zmanjšale emisije za pet odstotkov v primerjavi z letom 1990. Za uresničitev ciljev je EU sprejela dve direktivi, od katerih se prva (SAVE 93/76/EEC) zavzema za zmanjševanje izpusta emisij CO₂ z izboljšanjem energetske učinkovitosti, druga (2002/91/EC) pa opredeljuje energetske lastnosti zgradb. Na podlagi teh direktiv bo z letom 2007 v Sloveniji začelo veljati obvezno certificiranje zgradb glede energetske učinkovitosti, na podlagi katerega bo izdana energetska izkaznica. Le-ta je v nekaterih Evropskih državah že obvezna. Vsebina izkaznice in metodologija izračuna temeljita na standardu EN 832. Poleg glavnih onesnaževalcev zraka, kot sta industrija in promet, zrak v znatnih količinah onesnažujejo tudi stanovanjske in druge zgradbe. Onesnaževanje v veliki meri zmanjšamo tako, da povečamo energetske učinkovitost zgradb. Le-te v času kurilne sezone skozi ovoj prepuščajo toploto v okolico. Toplotni tok teče iz toplejše notranjosti proti hladnejši okolici, kar pomeni, da moramo za ohranjanje notranje temperature toploto dovajati s pomočjo grelnih naprav. Toplotni tok se s prevajanjem, konvekcijo in sevanjem širi v vse smeri v odvisnosti od toplotne upornosti "ovir", na katere naleti. V članku je opisana primerjava rezultatov energetske učinkovitosti dveh stanovanjskih zgradb, ki so bili pridobljeni s programom, izdelanim v LMK. Izračuni enkrat temeljijo neposredno na podlagi priporočil in enačb standarda, drugič pa na podlagi izračuna s pomočjo osnovnih fizikalnih enačb za prenos toplote, ki so prilagojene za izbrani model stanovanjske zgradbe. Program je zasnovan modularno v programske okolju Microsoft Excel tako, da izračuna posamezne lastnosti enega tipa zgradbe ali pa med seboj primerja dva različna tipa gradnje. Moduli v programu so naslednji: izračun dimenzij, okna in vrata, temperature, vhodni podatki, pritoki, izgube – grajena hiša, izgube – montažna hiša in primerjava rezultatov. Podatki toplotnih lastnosti posameznih materialov so pridobljeni od dejanskih proizvajalcev. Končni rezultat so podane toplotne izgube posameznega tipa zgradbe.

Ključne besede: energetska učinkovitost zgradb, merjenje toplotnih izgub

Energy efficiency of buildings

Extended abstract. The European Union (EU) and its members states have implemented various programmes to prevent contamination of air by green-house gases according to commitments of the 2005 Kyoto Protocol. From 2008 to 2012 the countries having signed the Protocol, Slovenia being one of them, shall have to assure 5 % decrease in the green-house gases emissions compared to the state in 1990. To achieve the objective the EU adopted two directives. The first directive (SAVE 93/76/EEC) foresees reduction in the CO₂ emissions through improvement of energy efficiency. The second directive (2002/91/EC) determines criteria for buildings energy efficiency. To implement the two directives Slovenia has adopted compulsory certification of buildings, on the basis of which energy-efficiency certificates will be granted in compliance with the common practice of some EU countries. The content and calculation methodology of the energy-efficiency certificate is based on the European standard EN 832. Besides the main pollutants, such as industry and traffic, residential and other buildings contribute a substantial share to pollution too. Pollution can be reduced by increasing

the energy efficiency of buildings, realising during the heating season heat losses into the environment. As heat flows from the warmer interior into the colder exterior, heating the interior by different energy supplies is required in order to maintain constant temperature. Heat flows as conduction, convection and radiation into all directions depending on heat resistance of "obstacles". The paper presents a comparison of energy efficiency of two residential buildings. It is based on results obtained by a software developed at the LMK. The calculation is first made according to recommendations of the above standard and then on physical equations adapted to the used model of residential buildings. The software was developed in the Microsoft Excel environment in modules, calculating different characteristics of buildings and comparing two different buildings. The modules are the following: calculation of dimensions, windows and doors, temperature, input data, heat gains, heat losses – built house, losses – prefabricated house, comparison of results. Characteristic data of the used materials are obtained from the actual manufacturers. As the final results, heat losses for a residential building are given.

Prejet 20. december, 2006
Odobren 8. maj, 2007

Keywords: energy efficiency of buildings, measurement of heat losses

1 Uvod

Problematika segrevanja ozračja v zadnjem stoletju zaradi povečanja industrializacije, prometa in števila zgradb pomeni resno grožnjo pri naporih za ohranitev normalnih življenjskih razmer za prihodnje rodove. Za zmanjševanje emisij toplogrednih plinov in posledično zmanjšanje ozonske luknje na svetu se zavzema predvsem Kjotski protokol. Pri zmanjševanju toplogrednih plinov EU sprejema razne direktive, kot je direktiva (SAVE 93/76/EEC), [1], za omejevanje emisij CO₂ z izboljšanjem energetske učinkovitosti in direktiva (2002/91/EC), [2], o energetskih lastnostih zgradb. S 4. januarjem 2006 je za podpisnice Kjotskega protokola v Evropski uniji začela veljati direktiva (2002/91/EC), na podlagi katere se za ugotavljanje energetske učinkovitosti zgradbe uvaja energetska izkaznica zgradb, [3].

2 Kjotski protokol

Kjotski protokol je sprejelo 141 držav, da bi zaustavile globalno segrevanje ozračja. Konvencija za preprečevanje podnebnih sprememb je nastala pred 14 leti, Kjotski protokol pa ji je bil dodan pred devetimi leti. Veljati je začel februarja 2005. Emisije držav, ki so sporazum ratificirale, pomenijo 61 % globalnih emisij. V prvem ciljnem obdobju 2008 do 2012 bodo države, ki so protokol ratificirale, skušale emisije zmanjšati za vsaj 5 % v primerjavi z letom 1990. Ta cilj pomeni 29-odstotno znižanje glede na ocenjeno količino emisij za leto 2010, ki bi nastale brez uresničevanja protokola. Protokol skuša omejiti emisije šestih toplogrednih plinov: ogljikovega dioksida, metana, didušikovega oksida, fluoriranih ogljikovodikov, perfluoriranih ogljikovodikov in žveplovega heksafluorida. Pospešen razvoj industrije je v zadnjih desetletjih emisije teh plinov zelo povečal, zato se je povečal učinek tople grede. Globalno segrevanje ozračja je povzročilo spremembe podnebja, ki se po mnenju strokovnjakov že kažejo, [4]. Protokol je prvi korak do zmanjšanja učinkov tople grede in segrevanja ozračja, pravijo njegovi zagovorniki, ki so predvsem EU in okoljevarstvene organizacije ter OZN. Ovira je dejstvo, da so zastavljeni cilji nedosegljivi brez sodelovanja Združenih držav Amerike. Čeprav so ZDA podpisale protokol, ga njihov senat ni ratificiral in zato ne prevzemajo obveznosti. Administracija ameriškega predsednika G. W. Busha je protokol označila kot krivičnega, saj Kitajska, Brazilija, Indija in nekatere druge države v razvoju niso bile vključene v protokol, da ta ne bi onemogočil njihove gospodarske rasti. Pristop Rusije je postal nujen, ko so leta 2001 od njega odstopile ZDA, saj je moralo protokol, da bi začel veljati, podpreti najmanj 55 držav, ki v ozračje izpuščajo 55 % toplogrednih plinov. Nasprotniki ratifikacije trdijo, da gre za politično in vsiljeno odločitev, saj bo EU v zameno Rusiji pomagala pri vstopu v Svetovno

trgovinsko organizacijo. Od razpada Sovjetske zveze je rusko gospodarstvo močno nazadovalo. S tem se je zmanjšala tudi količina emisij toplogrednih plinov. Tako Rusiji ne bo težko doseči zmanjšanja v primerjavi z letom 1990 in bo lahko služila s prodajo emisijskih kuponov preostalim državam. Svetovalec ruskega predsednika za gospodarske zadeve Andrej Ilarijonov, ki je nasprotnik Kjotskega protokola, je opozoril, da bo uresničevanje protokola vodilo do drastičnega zmanjšanja ruskega BDP. EU prispeva okoli 21 % vseh emisij toplogrednih plinov. Zavezala se je, da jih bo v povprečju zmanjšala za 8 % glede na leto 1990. Države članice, ki cilja ne bodo dosegle, bodo morale plačati globo. Leta 2005 bodo za vsako tona CO₂ preveč morale plačati 40 evrov. Avstralski premier John Howard je dejal: »Vse dokler ne bodo največji onesnaževalci na svetu, med njimi tudi ZDA in Kitajska, postali del Kjotskega protokola, je ta skoraj nekoristen in celo škodljiv za države, kot je Avstralija.« Avstralija je po količini emisij na prebivalca takoj za ZDA. Premier meni, da si Avstralija tudi brez protokola dovolj prizadeva za zmanjšanje emisij. Leta 1986 so bile emisije toplogrednih plinov v Sloveniji 20,6 milijona ton ekvivalenta CO₂. Osem odstotno zmanjšanje pomeni, da Slovenija v povprečju ne bo smela preseči 18,95 milijona ton emisij ekvivalenta CO₂ na leto. Ocenjeni stroški izvajanja protokola v Sloveniji znašajo v ugodnejšem primeru 23 milijonov evrov na leto, v manj ugodnem primeru pa 42 milijonov evrov na leto.

3 Energetska izkaznica

Namen energetske izkaznice je spodbuditi učinkovito rabo energije pri novih in obstoječih zgradbah ter hkrati zmanjšati velike razlike med rezultati dosedanjih tovrstnih programov v državah članicah. V Sloveniji bo treba na osnovi direktiv EU uvesti obvezno energetske certificiranje zgradb, reden pregled kotlov in naprav za klimatizacijo, ob večjih prenovah zagotoviti sočasno energetske sanacije zgradbe ter pri večjih novogradnjah že pri načrtovanju proučiti uporabo energetske učinkovitih tehnologij. Energetska izkaznica zgradbe je po novi direktivi obvezna pri gradnji, prodaji ali najemu zgradbe. Njena veljavnost je omejena na deset let. Vsebovati mora referenčne vrednosti iz pravilnika ali drugače določene primerjalne kazalce, ki omogočajo primerjavo zgradb. Interes EU z energetskega certificiranjem je seznaniti kupca ali najemnika z energetske lastnostmi zgradbe in drugimi programi, kot so na primer državne spodbude, subvencije ali ugodna posojila. Za javne zgradbe z več kot 1000 m² je obvezen prikaz energetske izkaznice na vidnem mestu.

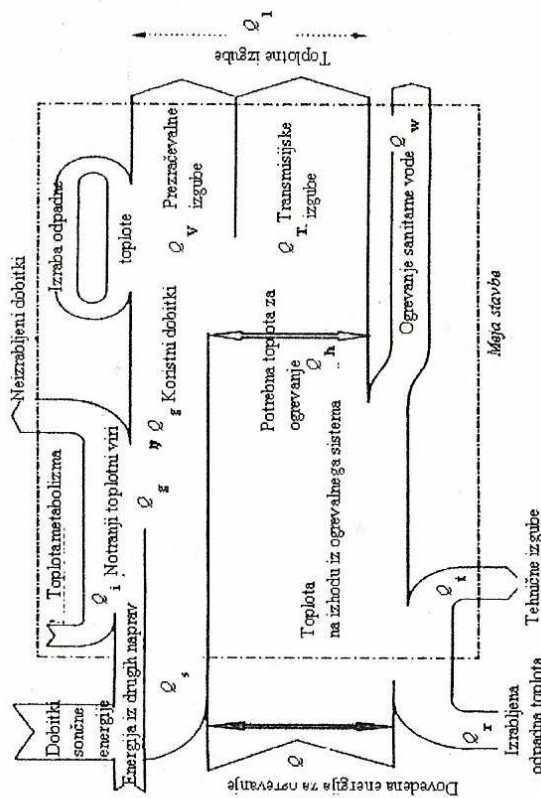


Slika 1: Primer dela energetske izkaznice
Figure 1. Example of the Slovenian energy-efficiency certificate

Energetska izkaznica (slika 1) je oblikovana kot knjižnica z informacijami o zgradbi, investitorju, lokaciji zgradbe in projektni dokumentaciji, [5]. Na prvi strani je prikazanih sedem razredov rabe energije (A-G), vsak obsega območje po 15 kWh/m^2 . Razred A pomeni energetsko najučinkovitejšo zgradbo, pri kateri je potrebna toplota za ogrevanje zgradbe najmanjša, razred G je energetsko najbolj potratna zgradba. Za zgradbe, ki so grajene v skladu s sodobnimi pravili gradbene prakse, pričakujemo, da se bodo uvrščale v razred C, izjemoma v razred B, v določenih primerih (zelo razčlenjene zgradbe) pa se lahko zgradbe, ki sicer še vedno izpolnjujejo zahteve novega pravilnika o toplotni zaščiti zgradb, uvrščajo tudi v razred D. V druge razrede manjše učinkovitosti se bodo uvrščale starejše zgradbe. Puščica v prvem stolpcu slike 1 označuje energetski razred, ki ga zgradba dosega upoštevaje podnebne razmere na konkretni lokaciji. Druga puščica označuje normalni energetski razred glede na referenčno lokacijo, da je omogočena primerljivost različnih zgradb. Tretja puščica označuje dovoljeno vrednost po novem pravilniku. Na notranjih straneh energetske izkaznice zgradbe najdemo osnovne podatke o obliki zgradbe in toplotnih lastnostih ovoja in zelo splošno informacijo o uporabljenem viru energije in o ogrevalnem sistemu. Prikazani so termografski posnetek ovoja zgradbe in najpomembnejši rezultati izračuna. Izkaznica v tej fazi še ne posega na področje ogrevalnega sistema in izkoristka pretvorbe goriva v koristno toploto za ogrevanje zgradbe. S podatkom o potrebni toploti za ogrevanje zgradbe po EN 832 poudarja zlasti uspešnost pri načrtovanju zasnove zgradbe, pasivno izkoriščanje sončne energije, gradbeno fizikalno ustrezen ovoj zgradbe s čim manjšimi toplotnimi izgubami in omejevanjem toplotnih mostov. Na zadnji strani izkaznice so predstavljeni vloga in namen energetske izkaznice ter podatki o izdajatelju.

Kljub obstoječim standardom v zvezi z energetsko učinkovitostjo, [6], [7], [8], Evropska komisija tesno sodeluje z Evropsko organizacijo za standardizacijo (CEN) pri pripravi potrebnih standardov, ki bodo podprli metodologijo izračuna celovitih energetskih lastnosti zgradb. Izračun mora upoštevati vplive toplotne zaščite, prezračevanja, lokacije in orientacije, kot je to predvideno tudi v Sloveniji, ter vplive ogrevalnega sistema, sistema za pripravo tople vode, klimatizacije, razsvetljave, hlajenja in pasovnih solarnih sistemov (slika 2). Upoštevati je treba tudi pozitivne učinke rabe obnovljivih virov, naravnega osvetljevanja, sproizvodnje toplote in elektrike ipd. Toplotne lastnosti zgradbe morajo biti razvidne, lahko jih dopolnjuje tudi podatek o emisijah CO_2 . Sistemi izdajanja energetske izkaznice po direktivi se v praksi smiselno razlikujejo glede velikosti zgradb. Za manjše stanovanjske zgradbe je predvideno, da energetska izkaznica temelji na izračunanih kazalcih rabe energije. Za večje zgradbe v javni rabi mora izkaznica podajati dejanske podatke o rabi energije, za kar je potreben energetski pregled objekta s priporočili za izvedbo izboljšav.

Energetski kazalec je potrebna toplota za ogrevanje zgradbe, izražena v kWh/m^2 na leto, glede na neto uporabno površino zgradbe. Podatek je določen računsko na podlagi metode po standardu EN 832. Potrebna letna toplota za ogrevanje zgradbe je izračunana upoštevaje transmisijske toplotne izgube skozi ovoj zgradbe in izgube zaradi prezračevanja ter koristne toplotne pritoke zaradi sončnega sevanja in notranjih virov toplote pri normalni uporabi. Upoštevani morajo biti konkretni podatki o sončnem sevanju in temperaturnem primanjkljaju na lokaciji zgradbe. Na končni rezultat vplivajo lokacija zgradbe s svojimi podnebnimi razmerami, orientacija zgradbe, njena razčlenjenost, toplotni mostovi, razporeditev okenskih odprtin, senčenje zaradi zunanjih ovir in objektov v okolici. Izračunanega podatka o potrebni toploti za ogrevanje torej ni mogoče posplošiti na podobne zgradbe.



Slika 2: Toplotni tokovi v zgradbah (EN 832), ki jih je treba upoštevati pri izračunu energetske učinkovitosti
Figure 2. Heat flows in buildings (EN 832), used in energy-efficiency calculations

3.1 Izračun energetske učinkovitosti

Program za izračun energetske učinkovitosti sem razvil v programskem okolju Microsoft Excel zaradi preproste uporabe, prilagodljivosti in možnosti nadgradnje. Sestavljen je iz osmih jezičkov (podprogramov), ki si sledijo v smiselnem zaporedju. Vsak izmed jezičkov vsebuje več tabel za vpis podatkov ali izračun rezultatov. Program je zasnovan tako, da so polja smiselno obarvana. Vhodni podatki se vpisujejo v polja z rumeno oziroma svetlo rjavo barvo. Svetlo modra polja pomenijo delne vmesne, zelena pa končne vmesne rezultate. Izračuni energetske učinkovitosti zgradbe so označeni s svetlo rdečo barvo, medtem ko je končni rezultat energetske izkaznice obarvan oranžno.

Prvi jeziček je namenjen vpisu osnovnih podatkov zgradbe in izračunu površin, ki jih potrebujemo v nadaljevanju. V tabelo za pritličje vpišemo dolžino sten glede na orientacijo v prostoru in njihovo višino. Program izračuna površine sten prvega pritličja in

površino dna. Streha je mišljena kot dvokapnica. Njen kot in orientacijo lahko poljubno spreminjamo. Rezultati prvega dela programa so podani na koncu jezička v tabeli seštevka zunanjih površin za vsako orientacijo posebej. V prvi tabeli so površine sten, stanovanjskega in slemenskega dela strehe. Dodana sta površinska podatka za toplotne mostove vmesnih plošč in oken. V drugi tabeli so podatki površin za vse elemente, ki so vgrajeni v steno. To so površine vhodnih in garažnih vrat, oken in balkonskih vrat ter strešnih oken, ločeno za površine okvirov in stekla. Izračunane so še vse bruto in neto prostornine prostorov za vsako etažo posebej in celotni volumen ter oblikovni faktor zgradbe.

Jeziček oken in vrat je prav tako namenjen izračunu dimenzij, vendar je zaradi lažje preglednosti in velikosti tabel obravnavan kot samostojen jeziček. Vseh osem tabel je namenjenih vpisu dimenzij oken, strešnih oken, vhodnih, balkonskih ter garažnih vrat glede na smer orientacije v prostoru. V tabele se vpisujejo zunanje dimenzije in število elementov. Pri vsakem elementu s stekleno površino je treba vpisati velikost okvirja, kar pomeni manjšo stekleno površino glede na zunanje mere. Na tem mestu so izračunane tudi površine toplotnih mostov vgrajenih elementov tako, da njihovim zunanjim meram dodamo 20 centimetrov.

V jezičku temperatur so temperature, ki jih potrebujemo za izračun energetske učinkovitosti. Nekatero temperature so vpisane kot podatki, nekaj jih predpostavimo, določene pa lahko izračunamo s pomočjo iteracijske metode. Na začetku vpišemo temperaturo notranjega zraka. Okoliška temperatura je odvisna od lokacije zgradbe. Najbolj primerno je, da vzamemo večletno povprečje za vsak mesec posebej. Od lokacije zgradbe je odvisna tudi temperatura zemlje na določeni globini. Informacije so na voljo pri hidrometeorološkem oziroma geološkem zavodu. Predpostavljene temperature so približek dejanskih vrednosti, ki bi jih v praksi morali izmeriti. Predpostavimo temperature notranjih sten, notranjega stropa, notranje strehe in notranje strehe stanovanja ter jih vpišemo v tabelo za iteracijo. Program s pomočjo nekaj korakov iteracije izračuna pravo vrednost temperature. Vendar so ti rezultati zelo odvisni od predpostavljenih temperatur. Površine v zgradbi imajo različne emisivnosti, ki jih vpišemo v vrstico emisivnosti, ki se nahaja pod tabelo temperatur in se upošteva pri izračunu temperature površin. V našem primeru smo za površine privzeli vrednost 0,9, ki je približna povprečna vrednost dejanskih površin.

V jezičku vhodni podatki podatke vpisujemo v tabele, na katere se sklicujemo pri izračunih toplotnega toka skozi različne materiale, na različni orientaciji in pod različnimi koti. V prvih treh tabelah so podatki o sevanju za vse katastrske občine, in sicer za povprečno mesečno dnevno vsoto energije sončnega obsevanja za različno orientirane ploskve pod različnimi nakloni. Za

izračun dnevnega pritoka sevanja pri dejanskem naklonu površine se v tabelah izvede izračun s pomočjo linearne interpolacije.

V jezičku pritoki je upoštevano sončno sevanje, ki vstopa v zgradbo skozi vse površine. Vpliv sončnega sevanja skozi stene zanemarimo, ker zelo malo vpliva na končni rezultat. Pomembno pa je sončno sevanje, ki vstopa v zgradbo skozi steklene površine. Prva tabela je namenjena izračunu sevalnega pritoka vertikalnih površin z različnimi orientacijami za vsak mesec posebej. Druga tabela je namenjena izračunu sevalnega pritoka za obe poševni površini. Ker v realnosti nimamo idealnih steklenih površin, moramo upoštevati ustrezne korekcijske faktorje (senčenje, zavesa, okvir, transmisija), ki vrednost sevanja zmanjšajo. Poleg sončnega sevanja moramo v zgradbi upoštevati tudi prispevek preostalih virov toplote, ki imajo temperaturo višjo od notranje temperature. To so predvsem električne naprave, ki ogrevajo prostor s svojim delovanjem in ljudje, ki prebivajo v zgradbi. Ta vrednost je standardizirana in se privzame kot prispevek 5 W/m^2 stanovanjske površine zgradbe.

Izračun energetske učinkovitosti zgradbe je razdeljen ločeno za grajeno in montažno hišo. V osnovi sta oba dela zasnovana enako, le da imata različne vhodne podatke. Osnovni podatki dimenzij in površin vseh oken in vrat so za obe hiši enaki, da lahko rezultate energetske učinkovitosti različno grajenih hiš primerjamo med seboj. Na začetku izračuna za grajeno hišo vpišemo podatke za uporabljene materiale v tabele (toplotno prevodnost, debelino). Pri vertikalnih površinah vpišemo toplotne prevodnosti za stene, okna in vrata. Horizontalne površine sestavljata dno in strešna plošča podstrešnega prostora. Kot poševni površini sta mišljeni obe kapi strehe. Za modelni primer smo uporabili kot osnovno gradbeno enoto klasičen modularni blok [9], ki mu dodamo izolacijo, [10]. Na notranji in zunanji strani je stena zaključena z ometom, [11]. Skupna debelina stene je 45 cm. Uporabili smo lesena okna s toplotno prehodnostjo stekla $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, [12], [13]. Enake lastnosti imajo tudi balkonska vrata. Vhodna in garažna vrata imajo toplotno prehodnost $2 \text{ W/m}^2\text{K}$, [14]. Na tem mestu vpišemo še ocenjeno vrednost toplotne prehodnosti toplotnih mostov plošč, ki je v veliki meri odvisna od gradbene izvedbe.

Podobno podatke vpisujemo pri montažni hiši. Razlika je v tem, da imamo za montažne hiše podatke o toplotnih lastnostih ponavadi podane že od proizvajalca v obliki toplotne prehodnosti v $\text{W/m}^2\text{K}$. Ti podatki so na voljo za vertikalne in poševne površine, medtem ko toplotni tok v tla izračunamo na podlagi izbranih materialov in njihovih podatkov. Za primer smo vzeli montažno hišo Rihter Standard [15], ki navaja toplotno prehodnost stene $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$. Stena je sestavljena iz različnih materialov: mavčno-kartonske plošče, mavčno-vlakenne plošče, PE folije, termoizolacije, nosilne lesene konstrukcije, mavčno-vlakenne plošče,

termoizolacije, malte in končnega sloja fasade v skupni debelini 34,75 cm.

Za podlago zgradbe upoštevamo lastnost terena, na katerem je postavljena. Prevodnost zemlje je privzeta po standardu EN 832 in znaša $2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Osnovni podlagi sledi betonska nosilna plošča debeline 20 cm s toplotno prevodnostjo $0,8 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Ploščo zaščitimo z estrihom debeline 1 cm s toplotno prevodnostjo $0,02 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Na estrih položimo izolacijo debeline 5 cm s toplotno prevodnostjo $0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Sledi lesena površina (parket) debeline 2 cm s toplotno prevodnostjo $0,02 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Podlagi privzamemo enaki za grajeno in za leseno hišo.

Za izračun toplotne prehodnosti skozi strop za grajeno hišo uporabimo nosilno betonsko ploščo debeline 16 cm s toplotno prevodnostjo $0,8 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ in izolacijo debeline 15 cm s toplotno prevodnostjo $0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Pri leseni hiši ta podatek privzamemo od proizvajalca, [15], [16], kjer je toplotna prehodnost skozi strop in streho enaka in znaša $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Strop lesene hiše je sestavljen iz mavčne kartonaste plošče, PE folije, desk v razmiku, termoizolacije letev, lesene konstrukcije ter ponovno termoizolacije skupne debeline 48 cm.

Poševna površina hiše je streha. Za streho grajeno hiše smo privzeli, da je izolirana z izolacijo debeline 12 cm s toplotno prevodnostjo $0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Prekrita je z navadnimi cementiranimi opekami debeline 3 cm s toplotno prevodnostjo $0,8 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Za montažno hišo imamo na voljo podatek proizvajalca $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Skupna debelina strehe z mansardnim in strešnim delom je 42,5 cm.

V naslednjem koraku izračunamo vse toplotne prehodnosti. Zaradi preglednosti so ločene na konvekcijske in sevalne, ločeno za vsak mesec posebej. Toplotne prehodnosti konvekcijske so izračunane posebej za horizontalne in vertikalne površine. Toplotni tok skozi stene hiše se izračuna po transmisijski enačbi za večplastno planparalelno steno. V prvem stolpcu tabele se najprej izračuna faktor U oziroma toplotna prehodnost materialov, iz katerih je sestavljena stena. Treba je upoštevati, da sta notranja in zunanja toplotna prehodnost odvisni od konvekcijskih in sevalnih toplotnih prehodnosti za izbrano površino. V nadaljnjih stolpcih sledijo izračuni toplotnega toka za vsako smer neba in vsak mesec posebej. Podoben izračun izvedemo tudi za druge sestavne dele hiše. To so tla, strop, streha, steklene površine in vrata. Za vsak sestav izračunamo toplotno prehodnost za vsak mesec posebej nato upoštevamo pri izračunu toplotnega toka za različno orientirane in nagnjene ploskve.

Poseben primer so toplotni mostovi, ki so neizoliran oziroma slabo izoliran del hiše, kjer so zelo izraziti prehodi toplote iz notranjosti proti zunanosti. V našem primeru se upoštevajo toplotni mostovi steklenih površin, vrat in vmesnih betonskih plošč, ki so največji

toplotni mostovi. V realnosti je takih mostov več, vendar niso tako izraziti.

Izračun toplotnih izgub je v prvi fazi izveden po izračunu iz standarda. Izgube računamo kot seštevek transmisijskih in ventilacijskih izgub. Transmisijske izgube se računajo posebej za stene, streho, strop, okna, tla in toplotne mostove, kjer ima vsak od sestavov ovoja svojo površino in svojo toplotno prehodnost. Seštevek vseh transmisijskih izgub pomeni celotne toplotne izgube skozi ovoj. Glede na to, da sta zgradbi istih dimenzij, imata obe enake ventilacijske izgube. Standardnemu in modelnemu izračunu sledi primerjava podatkov v tabeli razlik, ki razen v poletnih mesecih nikoli niso večje od 10 %. To pomeni, da oba izračuna dajeta primerljive rezultate.

Energetska izkaznica se izračuna kot razlika toplotnih izgub in pritokov. Razlika za vsak mesec posebej pomeni, koliko toplote moramo dovesti hiši za vzdrževanje želene notranje temperature. Izračun pove, koliko energije na mesec moramo dovesti hiši za kvadratni meter uporabne stanovanjske površine. Podatek energetske izkaznice se poda za čas kurilne sezone glede na kraj, kjer izvajamo izračune. Izračun je izveden na dva sorodna načina, le da je zajem podatkov različen. Prvi način zajema podatke po izračunu iz standarda EN 832, drugi način pa je izračun po modelu. Za grajeno hišo je rezultat energetske izkaznice 38,9 kWh/m² po standardnem in 51,0 kWh/m² po modelnem izračunu. Pri montažni grajeni hiši sta rezultata 38,8 kWh/m² po standardnem in 49,1 kWh/m² po modelnem izračunu za energetske izkaznice. Z dobljenimi podatki se obe hiši v prvem primeru uvrščata v energijski razred A, v drugem pa v razred B, kar pomeni, da sta energetske zelo učinkoviti.

Poleg energije, ki jo porabimo za ogrevanje hiše, porabimo veliko energije tudi za pripravo tople vode. Poraba energije za toplo vodo se sicer ne upošteva pri izračunu energetske izkaznice, upošteva pa se pri letni porabi energenta. V tabelo za porabo energije za toplo vodo na začetku vpišemo osnovne podatke. To so število prebivalcev, povprečna dnevna poraba tople vode na osebo ter vstopno in izstopno temperaturo vode v sistemu. Rezultati so podani v dveh tabelah, in sicer v prvi kot količinska poraba tople vode za vse osebe na mesec ter drugi kot izračunana mesečna poraba energije za toplo vodo.

Zadnji del jezička izgub je namenjen izračunu cenovne porabe za ogrevanje hiše in tople vode. V programu so uporabljeni najpogostejši energenti, kot so olje, plin, les, premog in električna energija. Poraba se izračuna na podlagi cenovne postavke posameznega energenta za dobljeno kWh energije. Podatki se s časom spreminjajo, zato je treba njihove aktualne vrednosti osveževati. Pri izračunu je treba upoštevati izkoristek energenta in izkoristek sistema. Vpisani podatki se uporabijo pri izračunu porabe energenta za vsak mesec posebej. Podatki dejanske porabe posameznega

energenta za čas kurilne sezone in poraba sredstev za kurjavo ter za toplo vodo v času enega leta so podani v spodnjih dveh tabelah. Informativno so na koncu podani še cenovni podatki za hlajenje hiše v najbolj vročih poletnih mesecih in sicer junij, julij in avgust. V tabelah so primerjave uporabljenih štirih klimatskih naprav podobnih nazivnih moči.

V zadnjem jezičku so primerjani rezultati med grajeno in montažno oziroma leseno hišo. Gre za pomembnejše končne rezultate, ki jih zaradi postavitve tabel v isti jeziček lažje primerjamo. Ti podatki so izračuni transmisijskih izgub po standardu in po modelu ter njuna številska in procentualna primerjava. Prikazane so izgube in pritoki za energetske izkaznice tako mesečno kot sezonsko. Primerjajo se tudi podatki za porabo energenta med kurilno sezono za gretje in hlajenje v toplejših mesecih. Rezultat energetske učinkovitosti je razviden, ko primerjamo končne rezultate obeh zgradb. To pa je tudi osnovni namen programa. Dobljeni rezultati so si v našem primeru na pogled zelo podobni, a vendar je treba pri tem upoštevati, da so debeline sten različne. Tako ima grajena hiša kar za 10,25 cm debelejšo steno od masivne lesene hiše. Če bi vzeli na primer obe hiši enakih dimenzij, bi bila lesena hiša energetske veliko učinkovitejša. Če pa bi zmanjšali debelino stene grajene hiše, bi zelo oslabili njeno fizično konstrukcijo.

4 Sklep

Program za energetske učinkovitosti zgradbe temelji na standardu EN 832. Dejstvo je, da standard ni popoln, česar se zavedajo tako uporabniki kot Evropska komisija, ki se zavzema za njegovo dopolnitev. Na podlagi tega standarda so nastali izračuni toplotnih izgub in energetske izkaznice za zgradbo z izbranimi parametri. Problem zahtev standarda in točnosti izračunov so predvsem predpostavljene vrednosti veličin. Le-te lahko v številnih primerih precej odstopajo od pravih vrednosti. Groba ocena točnosti programa je okrog 20 % pri končnih rezultatih. Za pridobitev bolj točnih rezultatov bi bilo treba predpostavljene vrednosti pri izračunu v programu nadomestiti z izmerjenimi vrednostmi. To pa bi zahtevalo precej meritev, časa in s tem denarja, kar ni namen energetske izkaznice. Neznana je tudi točnost podatkov, ki so bili pridobljeni od proizvajalcev za posamezne materiale, točnost podatkov temperatur in sevanja, pridobljenih pri ARSO. Eden večjih problemov so izračuni toplotni mostov, ki v največji meri pripomorejo k slabši energetske učinkovitosti zgradbe. V našem primeru so bili toplotni mostovi ocenjeni, kar pa pomeni slabšo točnost rezultatov. Za izboljšanje rezultatov bi bilo treba te vrednosti pridobiti z meritvami in nato izračunati po standardu za toplotne mostove (EN ISO 14683). V programu so upoštevane tudi izgube, ki nastanejo zaradi ventilacije in zračenja

prostorov v zgradbi. To so zelo velike izgube glede energetske učinkovitosti zgradbe, vendar so življenjsko pomembne za kakovostno bivanje v zgradbi. Kot notranji pritoki zgradbe so upoštevani njeni prebivalci in naprave, ki pomenijo toplotni prispevek. Ti so privzeti po standardu in znašajo 5 W/m^2 , kar seveda ni isto za vse vrste zgradb in različne načine bivanja v njej. Tako je ta podatek le približen in bi bilo treba za bolj točne rezultate izvesti meritve na konkretnem primeru.

Leta 2007 naj bi se v Sloveniji začela z enoletno zamudo uvajati energetska izkaznica za zgradbe po priporočilih evropske direktive (2002/91/EC). V zvezi s tem se še vedno porajajo vprašanja, katera agencija ali organ bo prevzel odgovornost za izdajanje energetskih izkaznic. Vprašanje je tudi, koliko časa bo nek merilec porabil za meritve ene zgradbe in koliko bo strošek za naročnika izkaznice. Zastavlja se vprašanje, kako točno lahko nekdo izračuna oziroma izmeri energetske učinkovitost zgradbe, če bi za meritve in obdelavo rezultatov potreboval samo nekaj ur. Cena energetske izkaznice naj namreč ne bi preseгла 200 evrov.

Igor Pušnik diplomiral, magistriral in doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani v letih 1995, 1997 in 2004. Kot asistent je zaposlen v Laboratoriju za metrologijo in kakovost. Poudarek njegovega raziskovalnega dela je na brezkontaktnih temperaturnih merjenjih.

5 Literatura

- [1] European council directive 93/76/EEC (SAVE), Limit carbon dioxide emissions by improving energy efficiency, September 1993
- [2] European council directive 2002/91/EC, The energy performance of buildings, December 2002
- [3] Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, <http://www.sigov.si/mop/>, November 2005
- [4] Agencija republike Slovenije za okolje, ARSO, <http://www.arso.gov.si/>, November 2005
- [5] Gradbeni center Slovenije, ZRMK, <http://gcs.gi-zrmk.si>
- [6] European standard EN 832 Thermal performance of buildings, Calculation of energy use for heating, Residential buildings, CEN, September 1998
- [7] European standard prEN ISO 13790, Thermal performance of buildings, Calculation of energy use for heating, CEN, May 1999
- [8] European standard EN ISO 13789, Thermal performance of buildings, Transmission loss coefficient, Calculation method, CEN, September 1999
- [9] Goriške opekarne d.d., <http://www.go-opekarni.si>, November 2005
- [10] Termo d.d., <http://www.termo.si/>, November 2005
- [11] Termovermit, <http://www.strojanssek-sp.si>, November 2005
- [12] Jelovica d.d., <http://www.jelovica.si>, November 2005
- [13] Velux, <http://www.velux.si>, November 2005
- [14] Internorm okna, <http://www.internorm-okna.si/>, November 2005
- [15] Rihter d.o.o., <http://www.rihter.si>, November 2005